

人形峠夜次鉱床付近の花崗岩の電氣的性状について

馬場 健三* 陶山 淳治*

**On the Result of Electrical Prospecting by Profiling
Method near Yotsugi Mine at Ningyō Pass**

by

Kenzō Baba & Junji Suyama

Abstract

The electrical prospecting by resistivity method was carried out in 1959 at Nakatsugō mine locating near Ningyō pass, Tottori prefecture.

A purpose of the prospecting was to find out the depth to the basement which is composed of granite. The granite is covered by the Tertiary formation which contains uranium deposits.

In this survey, it is found that the resistivity of granite consists of two kinds of resistivity i. e. low resistivity (100~200 Ωm) and high resistivity (1000~2000 Ωm).

The surface of granite is generally flat but it shows some hollows which extend mainly east- and westwards like a channel. The uranium deposits have been frequently discovered in the area where the Tertiary formation covers such channels.

It seems that the low resistivity granite covers thickly high resistivity one where the granite shows a channel structure.

Such a phenomenon seems to be very important from the standpoint of uranium exploration.

Therefore, this time, the writers have conducted electrical prospecting in Yotsugi area to confirm whether they could find the similar feature as described above or not elsewhere of Nakatsugō area.

The reason why the writers chose Yotsugi area (about 5 km apart from Nakatsugō area) for this purpose was that they had already had lots of geological data in this area.

The another reason is that the thickness of Tertiary formation is very thin. The geology near Yotsugi deposit is nearly same to that near Nakatsugō deposit.

The potential profiling method has been used in this study. They explain how they applied this really to field survey. As the result it was known that the granite also in this region shows two kinds of resistivity i. e. low resistivity 100~200 Ωm and high resistivity 1000~2000 Ωm as in Nakatsugō mine are.

In the southern part of Yotsugi deposit, the low resistivity granite becomes thicker and this also corresponds to the channel structure explained above.

However, in the northern part where low resistivity granite exists thickly they can not find such relationship which was explained previously.

The low resistivity of 100~200 Ωm seems to correspond to the resistivity of weathered granite. The field resistivity measurement for outcrop dose not contradict this correspondence.

As it is expected that the vertical resistivity distribution in low resistivity granite varies gradually in some extent, it is difficult to determine uniquely the depth to the bottom. There

* 物理探査部

are many probable values which can be given to that depth. So they also discussed about this point. In appendix, the VES curves of the model are shown in Fig. 13.

In this model the resistivity distribution of upper layer varies gradually by $\rho = \rho_s e^{2mz}$ (where $z \geq 0$ is the depth from the ground surface and the thickness of upper layer is h) and the resistivity of lower layer does not depend on the depth from the ground surface.

要 旨

人形峠夜次鉱床付近ではこの地方の地質の基盤をなす花崗岩類がきわめて浅く、あるいは全く地表に露出している。われわれはここでこの花崗岩中における電気的比抵抗がどのように分布しているかを調べた。本報告ではまずどうしてそのような問題にとりくんだかに触れ、次にわれわれのとした調査方法について説明する。それは淵田によって提唱された新しい2極法の考えを利用したものである。調査の結果、花崗岩の比抵抗はわれわれの対象とした範囲内では大略100~200 Ω mのもの、1000~2000 Ω mのものに2分されていると解釈ができることがわかった。これらがどのように分布しているかについては本文で述べたとおりである。また低い比抵抗は風化した花崗岩の示す比抵抗と推せられる。最後に電気探査法による結果解釈の任意性の問題について若干触れ、それに関連して付録として表層の比抵抗が深さの関数であるようなモデルについて、2, 3の計算と考察を加えた。

1. 緒 言

昭和34年度に当所の事業の一つとして人形峠恩原地区(岡山県)にて電気探査が行われた。

その結果についてはすでに報告がなされているが(小野, 1961), その際調査地域の基盤をなしている花崗岩の電気的比抵抗に比較的低いもの(10² Ω m程度)と、それより高いもの(10³ Ω m程度)が存在することを観測している。また表層(第三系)に覆われた花崗岩の表面に起伏があり、ことにその凹部では低比抵抗の花崗岩が厚く存在することを予想させた。

そこでわれわれが今後この地方で物理探査法によるウラン鉱床の探査(現在では第三系と花崗岩との不整合面を知るのがその第一歩である。)を考えて行く際、この地方における花崗岩の電気的性状をさらによく知ることがきわめて有用なことであると思ひ、今度の仕事を行なった訳である。野外作業の場所としては花崗岩が地表によく分布している所、また地質学的研究がよく行

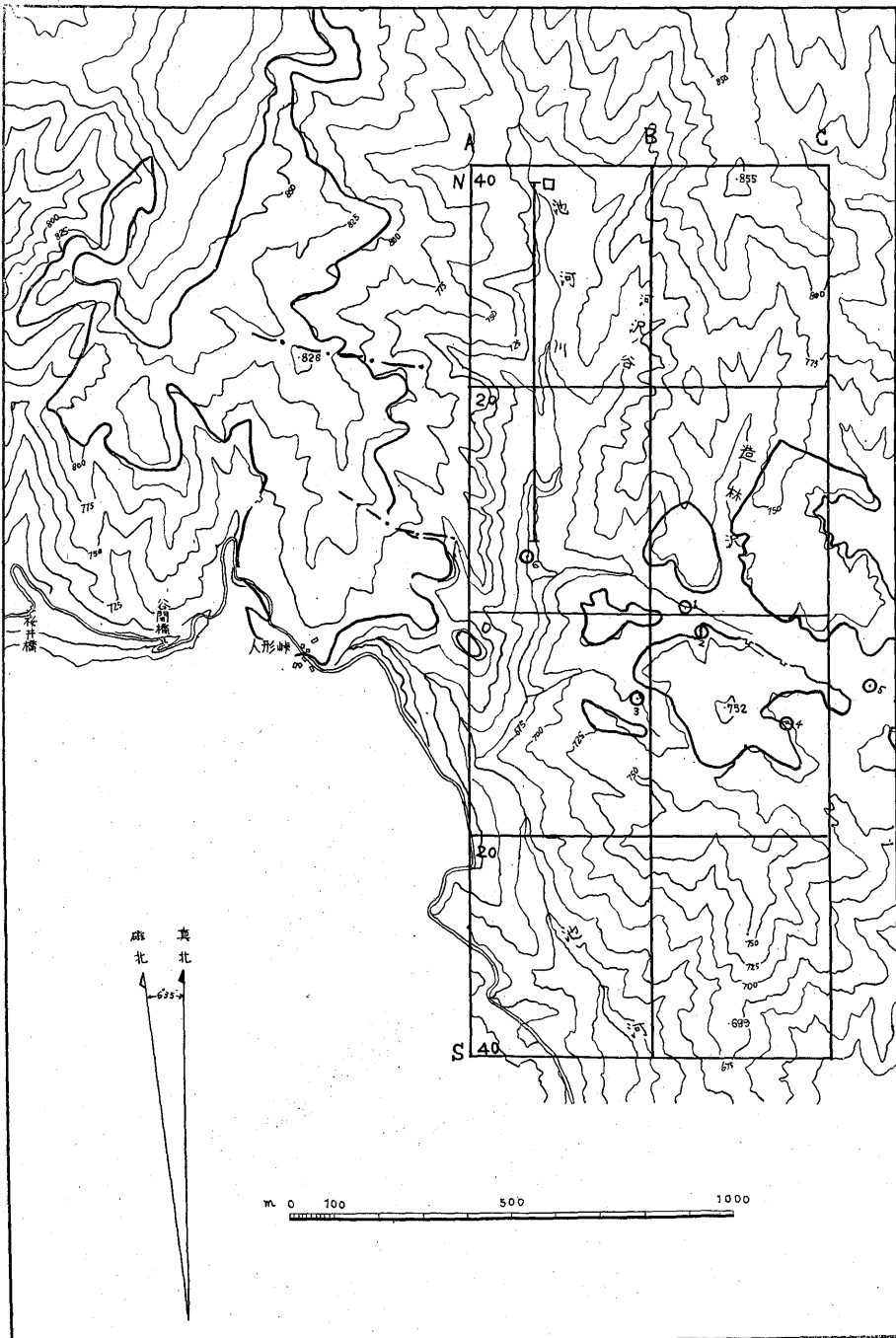
なわれている所という意味で、第一段階としてひとまず人形峠夜次鉱床付近からとりかかった。そしてこの付近の花崗岩の電気的性状に関する知識を深めることをテーマとした訳である。野外作業の日数は昭和35年8月および9月にわたった約50日間であった。またこの作業には筆者らのほか物理探査部小野吉彦・小林創が参加した。また小野は結果解釈につき有益な批判をしてくれた。なお原子燃料公社富重俊夫氏も野外作業に協力いただいた。この仕事を行なうに際しては原子燃料公社の多くの人々によりいろいろの便宜を計っていただいた。ことに現地の地質については公社人形峠出張所の山本勇氏にいろいろ教えていただいた。ここに厚く御礼申上げる。なお本報告の末尾の付録の項は馬場が担当したが、この項の計算を行なうに際しては物理探査部南雲昭三郎よりいろいろ教示をいただいた。

2. 調査地域の地質の大略^{註1)}

調査地域とその周辺の概略説明図を第1図に掲げた。またこれらに第三系の大体の分布とわれわれの使った測線を記入した。この付近の地質についてはすでに多くの調査があり論議がなされており、また筆者らもそれを利用したのであるが、われわれが今回仕事した付近の地質は、基盤の花崗岩類とその上の第三系(人形峠層)から成り立っている。ウラン・トリウム鉱物研究委員会で編集された、倉吉一人形峠地域の地質図(1961)によれば、この基盤の花崗岩は2つに分類されている。すなわち南側が粗粒~中粒角閃石黒雲母花崗岩で、北側が中粒黒雲母花崗岩である。この区別は岩石学的区別であっていまわれわれのもっている手段のうへではさしあたってあまり区別して考える必要はなからうと推察している。第1図には地質は現在ウラン鉱床として問題にされている人形峠層のみが記入されているが、それ以外の所は図の北西部を除くと先の地質図によれば全く花崗岩と記載されている。基盤花崗岩は概して起伏が乏しく平坦であるが、この中に東西方向に伸長する規模の大きいU字型断面のいわゆるチャンネル構造を伴っているということが諸調査より明らかになっている。この構造と花崗岩中の電気比抵抗の分布の仕方との間に、ある関係が予想され得たことについては先の項で触れたとおりである。

註1) この項に関してはウラン・トリウム鉱物研究委員会で編集された、ウランその資源と鉱物(1961年朝倉書店)を参考として記述した。

人形峠夜次鉦床付近の花崗岩の電氣的性状について (馬場健三・陶山淳治)

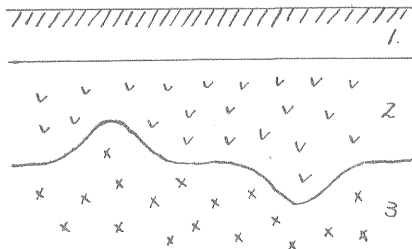


第 1 図 調査地付近説明図 (丸印：水試料を採取した場所)

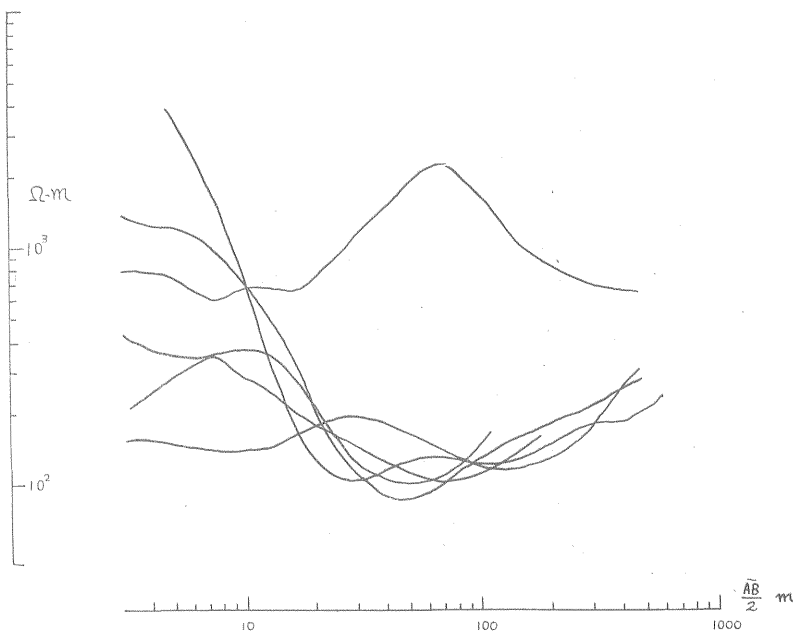
3. 測線と調査方法

測線として第1図に示したように南北方向 2 km にわたる3測線 (A, B, C) と、これに平行な補助的な測線、そして図のように東西線5本を設けた。

電気探査法による測定は主としてB測線および測線について行なわれた。その他の測線は作業上利用したりまた別に報告が予定されているが、今回の仕事と並行して行なわれた放射能探査のための測線として利用したものである。南北方向の測線について電気探査を行ない、南北方向の断面という形で地質構造をとらえようと意図したのは前項で述べたように、この地域の地質構造を大きな目でみると、それが東西方向の構造をもっていると考えられるからであった。調査方法としては直流法による垂直探査法と水平探査法とを主とした。水平探査の方



第2図



第3図 VES 曲線群

式は淵田隆門の提唱している新しい2極法に基づく考え方をとった (淵田, 1952)。すなわち大地に定常電流を流す際、地中の電界強度は地表に設けられた電極付近で大きく、それを離れるに従い急速に減少する。そして地下構造の反映は電界の強さそのものの大きい所ほど大きくなるから、地表電極付近では浅部の影響をより強調して反映する。したがって浅い所の影響の強調をできるだけ避けて、かなり深い所まで一様な電界強度にあるという状態になるべく近い所で電界の測定を行なえば、ごく浅部の地下構造に関する情報 (それは探査目的のうえからいえばノイズとなるものである。) が軽減されるという考え方である。いいかえれば一様な水平電流界に近い状態の所を選んで測定を行なう訳である。なおこの考えについては筆者の1人も考察を行ない、すでに発表している (陶山, 1960)。

さて次にはこの測定方式でわれわれの意図する測定を行なうには、電流電極間隔 (\overline{AB}) をどのように選んだらいいかという点に関して触れる。

これは表層の下部の凹凸、いいかえれば下層の起伏 (第2図参照) の存在位置を水平探査で知ろうとする時 \overline{AB} 間隔をどう選ぶべきかという問題になる。われわれのとった手順は、

- 1) まず適当な場所を多く選び、各地点での VES 曲

註2) Schlumberger 方式による垂直探査曲線。Vertical Electrical Sounding の略、Wenner 方式による $\rho - a$ 曲線に対応する。

線註2) を多く作る。この際起伏の有り様を知ろうとする下層の比抵抗が、その曲線に反映されてくるまでのVES

曲線を作っていかなばならぬ。

2) その VES 曲線群に基づき上の層 (第2図でいえば第2層である) の比抵抗を示す \overline{AB} の大体の値を知る。

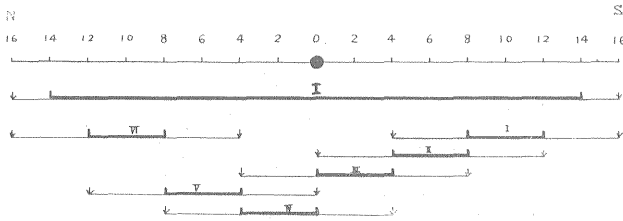
3) 次にその表面の起伏を求める地層 (第2図でいえば最下層) の比抵抗を示すと考えられる \overline{AB} の大体の値を知る。最下層の場合は VES 曲線の ρ_a がおちつく所である。

以上できめた2種の \overline{AB} 間隔で水平探査を行なえば、第2図の第2層と第3層間の起伏の有様を地表で推測できるであろう。このような目的で垂直探査をまず行なった。結果の VES 曲線の一部を第3図に示した。実際には作業上 $\overline{AB}=300\text{m}$ と $\overline{AB}=800\text{m}$ の2種をえらんだ。電位電極の間隔は前者において5m, 後者において20m とした。電位差の測定は両端の電流電極を固定して、その中点を中央として \overline{AB} の1/2の区間にわたって行ない、次に電流電極を移動するという方式で ρ 測線および B 測線をカバーした (1/2 という数値をえらんだのは均質媒質と考えて電位分布を考えると、大体この区間では電位曲線が平坦となるからである)。なお電位電極の移動は $\frac{\overline{AB}}{2}=150\text{m}$ の場合は5m ごとで、 $\frac{\overline{AB}}{2}=400\text{m}$ の場合は10m ごととした。換言すれば見掛比抵抗値を前者の場合は5m ごとに、後者の場合は10m ごとに求め

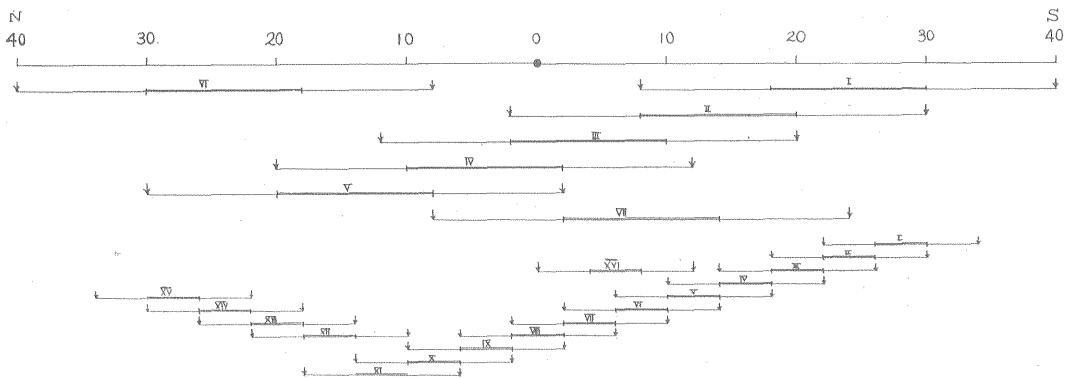
て行なったということである。第4図および第5図にその説明図を示した。なお B 測線の南側 (図の右方) ではウェンナーの等間隔4極法 ($a=5\text{m}$) による水平探査 (矩形波交流を使って) を行ない、比抵抗断面解釈の参考とした。B 測線の番号のつけ方は測線の中央を0として25m間隔に1, 2, 3, ……の順とした。 ρ 測線においてはやはり中央を0とし、両側に5m間隔に1, 2, 3, ……とした。

4. 結果とその解釈

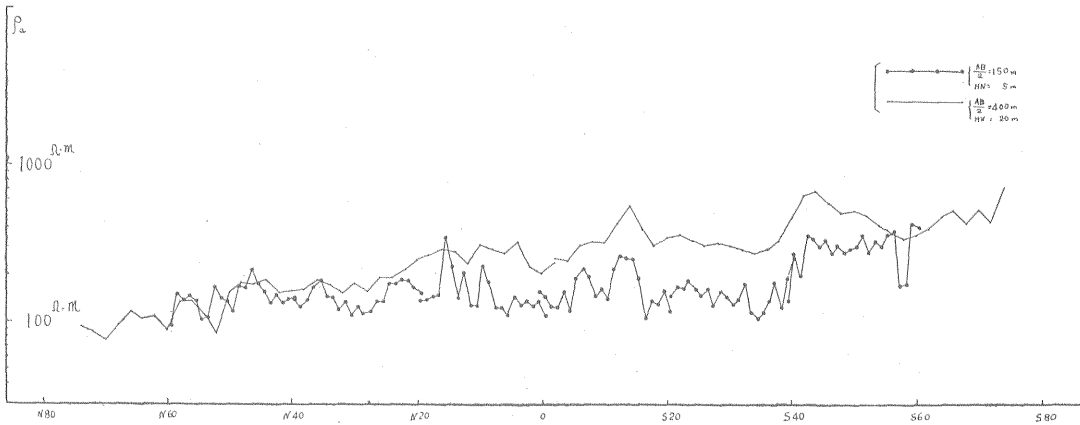
第6図および第7図は ρ 測線および B 測線の水平探査による見掛比抵抗断面図である。 ρ 測線は道路を利用して設けたもので地表の起伏は大体平坦に近く、地形の起伏による影響はこの比抵抗断面にほとんどないとみてさしつかえなからう。一方 B 測線の地形断面は第8図の通りであるが、 $S-20$ より $S-40$ にわたる傾斜 (傾斜角はほぼ 15°) が他に較べてかなり大きいことに留意する必要がある。そしてこの影響については後で触れる。また各測線に直交する方向での地形の変化を多少考慮すべきところが、2, 3 考えられた。第7図が示すことはまず $S-30$ より $S-6$ にわたっては大概 $10^2 \Omega\text{m}$ 程度の比抵抗のものがかなりの深さから地表付近にまで分布し、それが $S-6$ より0番にわたっては下にもぐって地表付近には $10^2 \Omega\text{m}$ 程度の低比抵抗のものが存在し、0番より $N-7$ にわたってはふたたび $10^3 \Omega\text{m}$ 程度のものが地表付近にまで分布するようになり、そしてこれより北の方へ $N-30$ にわたっては高比抵抗部は深くなり、かなりの深さから地表付近までが $10^2 \Omega\text{m}$ の低比抵抗の分布と解釈できる。第6図の ρ 測線についても北側が南側に較べ同じように低比抵抗部が深い所まで存在すると解釈で



第4図 D線水平探査電極配置図



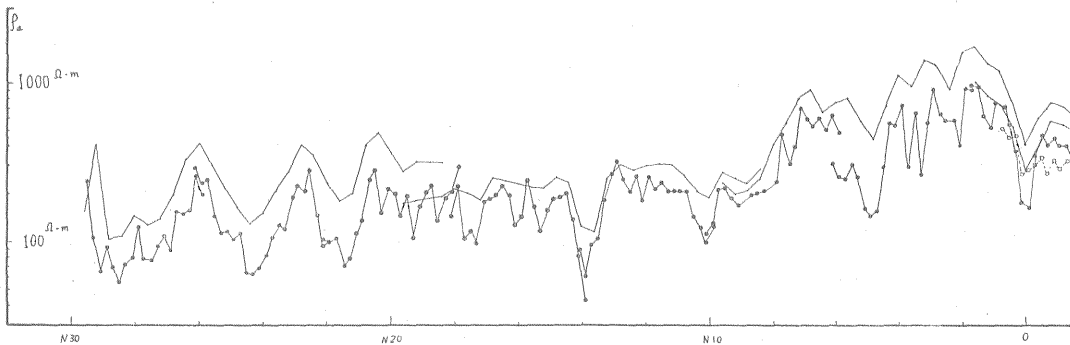
第5図 B線水平探査電極配置図



第 6 図 B 測線見掛比抵抗曲線図

きる。地層の比抵抗のいない手の主役は地層に含まれた水である。いろいろ問題はあるが坑道中の坑内水はこの水のしみでたものと考えられる。それでそういう考えに基づいて付近の坑道中の坑内水を取り水比抵抗を数例測ってみた。その結果が第 1 表である。なお第 2 表として地表水の比抵抗の数例を掲げた。試料採集場所は、第 1 図に記入してある。なお第 9 図には調査地付近の道路の切りわりを利用して、(1) 新鮮な乾燥した花崗岩の露頭、(2) 新鮮でしかも水分を十分に含んでいると観察された花崗岩の露頭、(3) 風化した花崗岩の露頭の 3 つの場合についてウェンナー法 (矩形波交流) による見掛比抵抗を求めた結果を掲げた。電極間隔により多少の変動がみられるが、大略それぞれのものの真の比抵抗値に近い値を示していると考えていいだろう。風化した花崗岩の比抵抗は先の水と同程度の値であり、風化のおかげで含有する地層水が多くなりそれに粘土鉱物の生成も考えられ、これがまた多くの水を含み風化花崗岩の比抵抗の

低下に参与していると考えられる。以上より推測すれば B 測線の南側と 0 番～N-7 の $10^3 \Omega m$ 程度の見掛比抵抗部分は比較的新鮮な花崗岩に含まれた水の比抵抗の反映であり、一方北側と 0 番～5～6 の $10^2 \Omega m$ 程度の比抵抗部分は風化した花崗岩中に含まれた水とか、粘土鉱物類の比抵抗の反映であろう。次にこれから議論を進める参考のために比抵抗比が 1 : 10 の 2 つの媒質からなる垂直断層の場合で断層面と測線の方向が直交するという場合の見掛比抵抗曲線を第 10 図に示した。この図の見掛比抵抗曲線は電位電極間隔を無限小にした場合、すなわち電位の微分量を見掛比抵抗の表現にしたものであるが、今回われわれの行なった水平探査方式は電流電極間隔に比して、電位電極間隔は充分小さく、したがって微分の概念に近いものであるから、これをもって今回の水平探査の結果の議論の参考にすることはさしあたって問題ないであろう。第 10 図において①は低比抵抗側に両方の電流電極がある場合であるが、曲線を見れば明ら



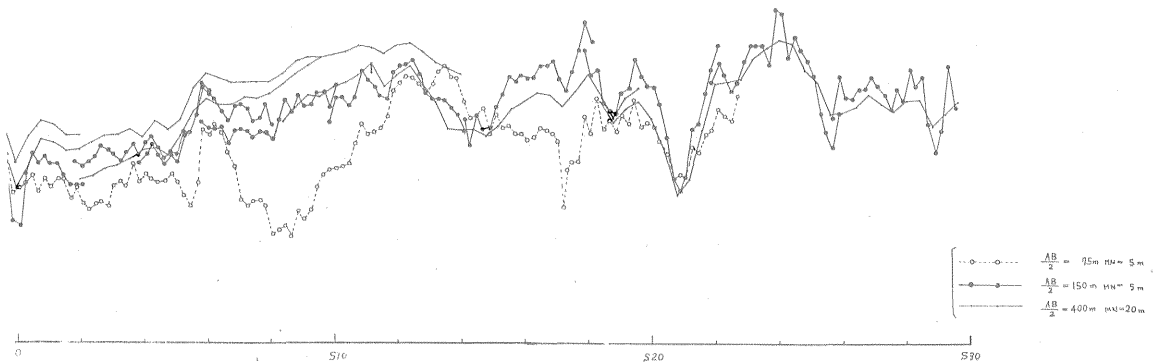
第 7 図 B 測線

かなように右方の高比抵抗側の影響をほとんど受けていない。同じことは両方の電流電極が高比抵抗側にある時にもいい得る。それが曲線⑤である。電流電極が両媒質にまたがって設けられた場合は、曲線②および④のように見掛比抵抗曲線に大きな変化を生じてくる。曲線③に対応する電流電極配列すなわち断層面が両電極の丁度中央にきた時、見掛比抵抗は電位勾配を測定している点の比抵抗それ自身の値を示す。

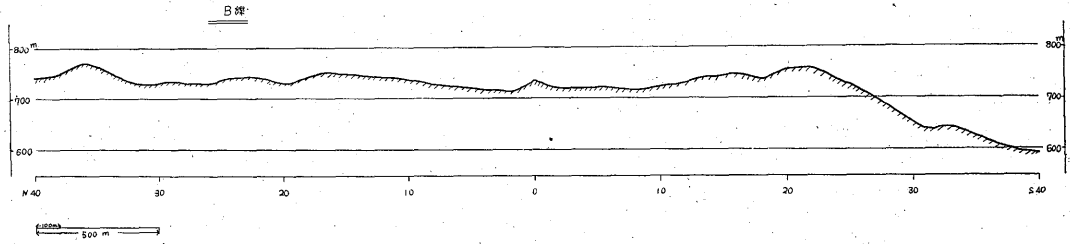
さて第7図にもどってB測線についていまま少し考察を進める。まず気のつくことは $\frac{AB}{2}=400m$ の場合の見掛比抵抗が $\frac{AB}{2}=150m$ の場合のそれより一般に高く出ていること(南側では必ずしもそうでないが)である。これは垂直的に大地をみた場合、より深い所より比抵抗の大きいものが存在することを示すものであり、このことはこの測線上で行なった垂直探査の結果に矛盾しない。次に $\frac{AB}{2}=400m$ の見掛比抵抗曲線のみに着目して気がつくことは、各曲線の左端が隣りの曲線の右端の下にもぐっていることである。すなわち、重複して見掛比抵抗($\frac{AB}{2}=400m$ の)が求められている所では電流電極がより南側にある場合の方が、より低い見掛比抵抗を示していることである。このことはたとえば第10図における第④曲線と第③曲線との違いに相当することと推定できる。換言すればこの地域の地下構造を水平的にみれば、南側が北側より、一般に高抵抗になっているということを、裏づけるものである。そしてこのことは水平探査の見掛比抵抗曲線の全般の形から充分納得できることである。しかし $\frac{AB}{2}=150m$ の場合の見掛比抵抗曲線となると必ずしもそのことがみられない。この場合は反映している比抵抗が $\frac{AB}{2}=400m$ の場合よりずっと浅く、考える次元もそれだけ小さいため、このことが反映されていない

のであろう。 $\frac{AB}{2}=150m$ の場合の見掛比抵抗曲線の変動の仕方が $\frac{AB}{2}=400m$ に較べてかなり大きいのも、同様な理由によるためであろう。より浅い所の影響とか、地形の影響をよく反映してくるという意味で、B線南側で $a=5m$ のウェンナー法による見掛比抵抗断面を作り、これも併せて第7図に示した。S-7よりS-10にかけてのウェンナー法による見掛比抵抗値が、他の2つの場合より著しくかけ離れているのは、主としてごく浅所の影響が強調されて表わされているものであろう。S-17付近より南側では先にも触れたように $\frac{AB}{2}=150m$ の場合が、 $\frac{AB}{2}=400m$ の場合の見掛比抵抗より大きくなっている。この差についてはわれわれは十分に理解できる結論をまだ持っていない。S-20よりS-22にわたっては3つの場合いずれも同程度の値で凹型の曲線を示しているが、この解釈もなかなか難しい。第8図のB測線地形断面図をみればわかるように、丁度この付近が傾斜稜角になるのでその影響がどの程度か検討してみる。

傾斜稜角の問題はいわゆる傾斜層の問題の特別の場合ですでに厳密な解析解が得られているが、計算の繁雑さを省くため、ここでは点電流源ではなく線電流源を考え完全な二次元問題として扱ってみた。傾斜の走向方向には地形の変化がなく、かつ無限長の線電流源を置くとして考える。このモデルは地形傾斜の模様に関しては測量結果からみてさしあたっては不都合ではない。また線電極を考えることに関しては、3.の項でも述べたように今回われわれのとった水平探査方式は実際は点電流電極を用いているのであるが、線電流電極を用いた場合に、なるべく近い状態の情報を受けているので、ここで線電極におきかえて考察することは、さしあたって許される近似



見掛比抵抗曲線図



第8図 B測線地形断面図

第1表 坑内水の比抵抗

試料番号	比抵抗 (Ωm)	測定時の水温 (°C)	坑道の場所
1	169.5	14	夜次
2	168.5	14	〃
3	184.0	14	中津河
4	127.5	14	〃
5	38.0	14	〃
6	141.5	13.5	〃
7	147.0	14	〃

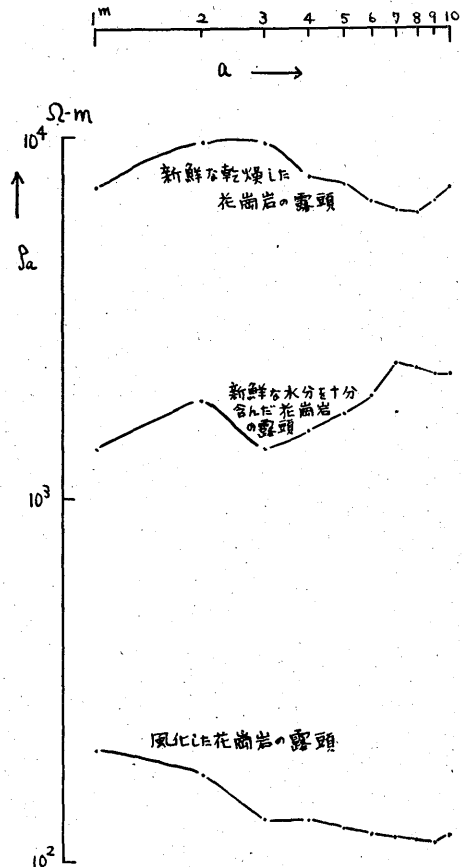
第2表 地表水の比抵抗

試料番号	比抵抗 (Ωm)	測定時の水温 (°C)
1	260	18.7
2	256	22.0
3	222	20.0
4	234	15.5
5	204	19.0
6	204	19.5

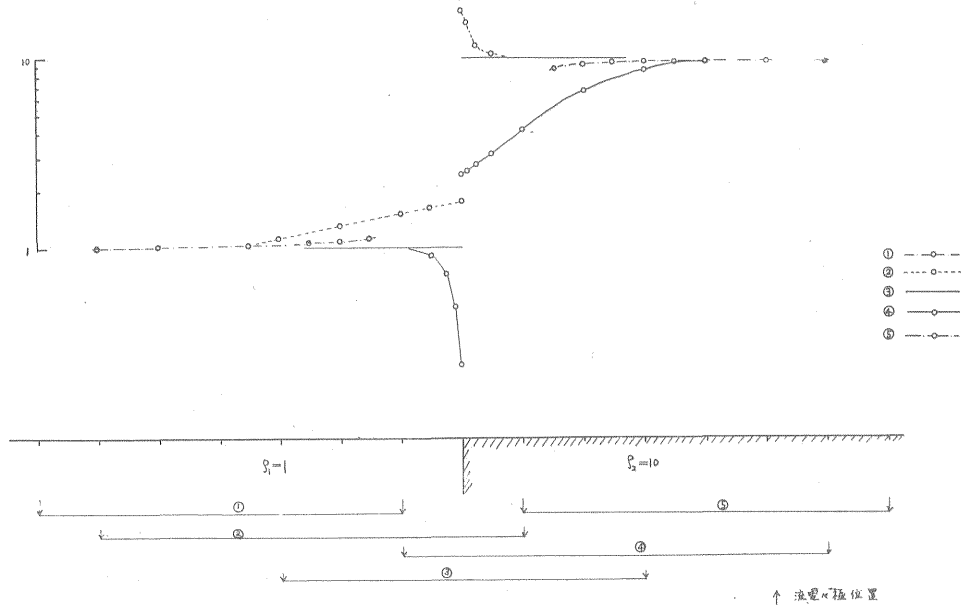
であろう。第11図に $\frac{MN}{AB} = \frac{5m}{300m}$ の場合、すなわち今回の調査では $\frac{AB}{2} = 150m$ の場合の二次元稜角の影響を示す見掛比抵抗曲線の左半分を掲げた。計算を簡単にするため AB , MN , の距離は地表面にそってとった。だから曲線は左右対称となる。それらの距離を一方の傾斜を水平とし、それにそってとれば当然左右は対称でなくなるが、傾斜角 15° では両者に大きな差異はでてこないであろう。計算の方法は清野武の等角写像による方法による。影響が一番大きいのは、電位電極が稜角を真中に挟んだ時であるが、それでも大地の比抵抗値の85%程度の値であり、結局この程度の傾斜角では見掛比抵抗曲線にたいして影響を示さないようである。 $\frac{AB}{2} = 400m$ の場合も電位電極間隔が20mであるからこれとはほぼ同じになる。ともあれ $S-17$ 付近の見掛比抵抗の減少は地表面の傾斜だけでは説明できない。 $S-17$ 付近の曲

線のふるまいについての説明は今回のデータだけではどうもできないようである。

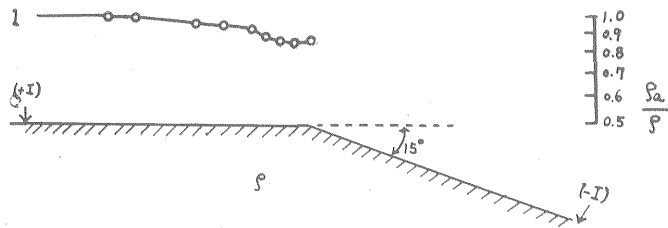
さて以上の説明で述べたわれわれの調査の対象の花崗岩体は、深い所では $10^3 \Omega m$ 程度以上の比抵抗を示すと考えられるが、 $10^2 \Omega m$ 程度の比抵抗を示す岩体がある所では、その低比抵抗が垂直的にどの程度まで分布しているのかを次に考察する。それには丁度その低比抵抗のある所で行なった垂直探査の結果が答えてくれる訳であるが、この地域は垂直探査が有効に行なわれるの



第9図 花崗岩の露頭比抵抗測定結果



第 10 図 電流電極の位置をいろいろにした場合の見掛け比抵抗曲線の変化 (垂直断層の場合)



第 11 図 傾斜緩角の影響

には必ずしも満足な条件を有していない。たとえば地形の影響が相当大きいものと考えられるし、媒質の比抵抗が水平方向にもかなり変化していると考えられ、これらに対する補正の方法をいまのところわれわれは持っていない。加うるに垂直方向にも比抵抗変化の漸移的变化が考えられ、地下構造をいくつかの様な比抵抗層による多層構造で近似するにも問題がある (この点については付録の項で若干触れる)。したがって定量的にはっきりした断定がきわめて難しい訳だが、たとえば B 測線 N-16 付近では地表より 135m 位の深さまで低比抵抗 ($10^2 \Omega m$) 部が存在し、その下部に $10^3 \Omega m$ 程度のすなわち、南側の地表付近の比抵抗と同程度のものが存在すると推定できる。B 測線 N-16 付近での高比抵抗部までの深さを 135m 位と表現したのは N-16 において行なった VES の結果を均質 3 層 (表層の薄い堆積物、その下の低比抵抗

抗花崗岩、最下層が高比抵抗をもつ花崗岩) として解析した結果なのである。いまこの曲線の薄い表層の部分を省き、上の層の比抵抗が指数的に増加するものとして VES 曲線を解析すると深さ 280m 程度で高い比抵抗の定比抵抗層になるという結果がでる (付録参照)。

比抵抗の垂直的分布の仕方がよくわからず、ある程度白紙状態のところ (この地方もそれに近い) では解析結果の任意性に充分留意すべきだということがこれからもわかる。ともあれ定量的にはきめられないが、この両者の境界の深度は定性的には今回の測線の範囲内では北に行くほど深くなる傾向がみられる。B 線 S-4 付近では地表付近の低比抵抗はほぼ 50m 位の深度まで分布し、それより下はやはり $10^3 \Omega m$ 程度になっていると解釈できる。そして S-4 付近、それに S-8 より南の方にかけてはほぼ数 100m の深度にわたって $10^3 \Omega m$ 程度の比

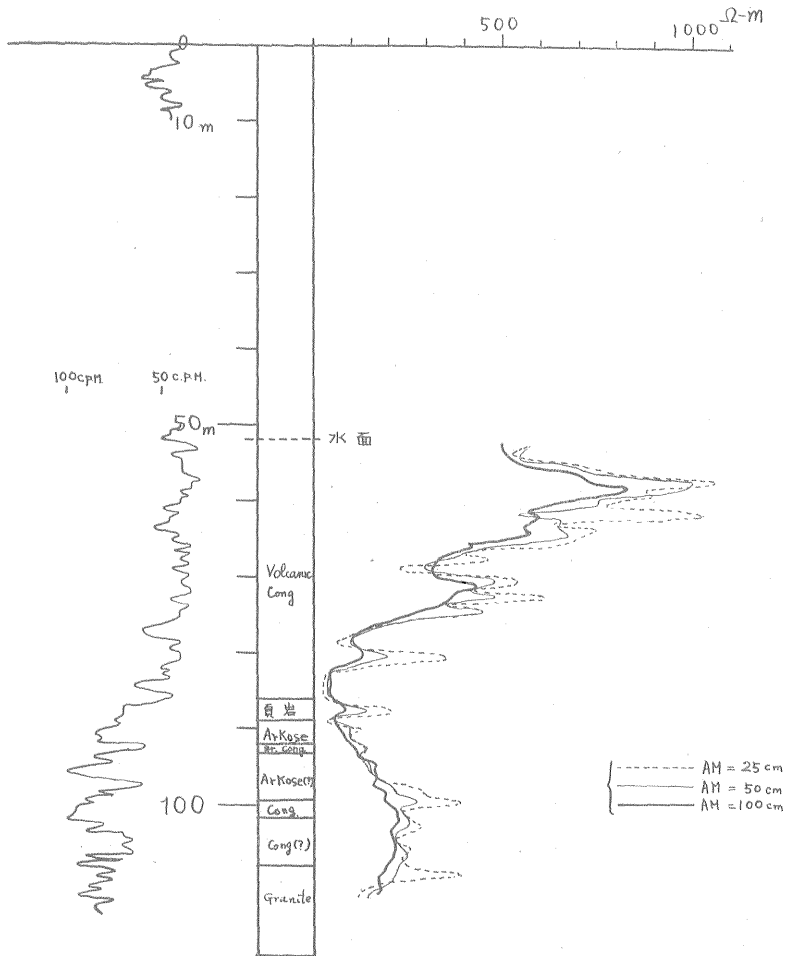
抵抗の一般分布と解釈できる。露頭測定から得た $10^4 \Omega m$ 程度の値(第 9 図参照)は今回の対象の深度では見られなかった。すなわち数 100m 以内では乾燥して水分を全く含まないような状態になっていないといえる訳である。

なお第 12 図に掲げた検層図は原子燃料公社が人形峠より東に数 km 離れた中津河において探鉱目的に設けた孔を利用してわれわれが行なった検層結果であって参考のためにここに掲げた。われわれの目的には花崗岩を貫いた孔があれば好都合なのであるが、この孔が丁度花崗

示唆している。

5. 結 語

われわれの目的は人形峠夜次鉱床付近に広く分布する花崗岩の電氣的性状を知ることにあつた。そしていろいろの考察の結果大まかではあるが、B 測線とそれに平行するロ測線を中心とするその近傍では北側にかんがりの低比抵抗部の存在をとらえることができた。またその規模については南北断面という形で知ることができた。



第 12 図 人中 4 号 井 検 層 図

岩にあつた所で掘止めになっていたのは残念であつた。それでもこの検層図をよくみると、孔底で比抵抗が大きくなっておらず、花崗岩の比抵抗がここでは低いことが認められるし、また shale の比抵抗にも特徴が認められ電気検層によるこの付近の第三系の対比の可能性を

この付近の地質構造が、大まかにみれば東西の方向性をもっていることを考えれば、この南北断面に見られた構造が東西方向にある程度連なると考えることは第一段階としては許されよう。前項で説明したとおり B 測線 0 番より S-6 にわたる付近 (ここは丁度夜次南鉱床に当

る)では高い比抵抗の花崗岩の表面が凹になりその上に低比抵抗の花崗岩が厚く存在している。丁度第三系と花崗岩との間に見られるこの地域のいわゆるチャンネル構造を反映するかのような様子をこの構造は示している。B測線北側に広く分布する低比抵抗部についてはこのような関連をすぐつけることはできない。そして広い範囲にわたるこの低比抵抗部の存在の示す意味はいまのところわれわれには全く不明である。第9図に示したデータから低比抵抗部および高比抵抗部が直ちに風化作用を受けた花崗岩と風化作用をあまり受けていない花崗岩とに結びつかどうかは安易にきめられないことであろう。また花崗岩体中に風化作用を著しく受けた部分が、ある分布をもっていることが地質学的にどういう意味をもつかについては今後考えて行かねばならぬことと思う。

(昭和35年8月~9月調査)

文 献

- 1) 淵田隆門：人工電位法の基礎的考察，物理探鉱，Vol. 5, No. 1, 1952.
- 2) 清野 武：電気探鉱の理論的考察，電気評論，Vol. 30, No. 1~3, 1942
- 3) 小野吉彦：堆積型ウラン鉱床に対する比抵抗法の利用について，地質調査所月報，Vol. 12, No. 6, 1961
- 4) 陶山淳治：電極配置と見掛比抵抗との関係について，物理探鉱技術協会昭和35年度春季講演会にて発表
- 5) ウラン・トリウム鉱物研究委員会：ウランその資源と鉱物，朝倉書店，1961

付 録

表層の比抵抗が深さとともに変わる場合の見掛比抵抗曲線の一例

1) 比抵抗が水平方向には変化しないが、鉛直方向には連続的に変化するような媒質中における点状定常電流源による電位については、たとえば King L. V.: On the flow of electric current in semi-infinite media in which the specific resistance is a function of the depth. (Phil. Trans. Roy. Soc. London 1934) のなかに述べられている。それによればたとえば地表の比抵抗を ρ_s として鉛直下方に z の正軸をとり、比抵抗分布を

註3) ここでいう見掛比抵抗はいわゆる Schlumberger 方式の電極配列による見掛比抵抗である。すなわち両端の電流電極の中央における電位勾配を測定し、これとその時流れた電流とより見掛比抵抗を算出する。

$$\rho = \rho_s e^{2mz}, (0 < m < \infty) \text{とした場合のVES見掛比抵抗 } \bar{\rho} \text{ (註3) は } \bar{\rho} / \rho_s = 2mr + e^{-mr} \quad (1.1)$$

である。ただし r は電流電極間隔の $\frac{1}{2}$ である。

2) いま2層構造を考え表層を $\rho = \rho_s e^{2mz}$ の比抵抗変化する層とし、これの厚さを h とする。そして下層は $\rho_s e^{2mh}$ の定比抵抗層とし、これが下方に無限に存在するものとする。このVES曲線を作ることを問題とする。

表層における電位は

$$V_1 = \int_0^\infty [L(\lambda)e^{u\lambda} + M(\lambda)e^{-\mu\lambda}] e^{mz} J_0(\lambda r) d\lambda + Vc \quad (2.1)$$

とかける。ここで $\mu = \sqrt{\lambda^2 + m^2}$ 、また Vc は第2層のない場合の電位とする。第2層における電位表示は

$$V_2 = \int_0^\infty N(\lambda)e^{-\lambda z} J_0(\lambda r) d\lambda \quad (2.2)$$

とかける。

(2.1), (2.2) と境界条件 $(V_1)_{z=0} = (V_2)_{z=0}$, $(V_1)_{z=h} = (V_2)_{z=h}$ および $\left(\frac{\partial V_1}{\partial z}\right)_{z=h} = \left(\frac{\partial V_2}{\partial z}\right)_{z=h}$ より L, M, N がきまる。

3) VES見掛比抵抗は結局次のようになる。

$$\bar{\rho} / \rho_s = \left(2mr + e^{-mr}\right) - 2r^2 \int_0^\infty \frac{\mu X}{X-1} J_1(\lambda r) d\lambda \quad (3.1)$$

$$\text{ただし } X = \frac{1 - \frac{1}{y}}{1 + y} e^{-2\mu h}, \quad y = \frac{\lambda}{\mu + m}$$

やはり r は電流電極間隔の $\frac{1}{2}$ である。

(1.1) と (3.1) とを比較すればわかるように、下層の寄与が (3.1) 式における積分の項である。

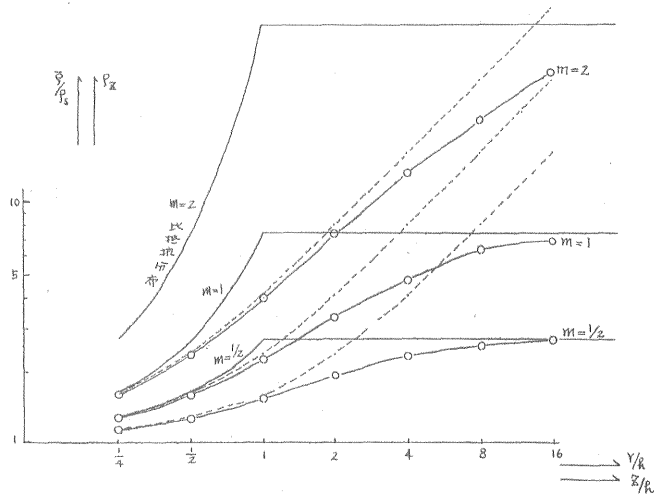
4) (3.1) 式の積分の計算は困難であるが r があまり大きくないところでは被積分関数の λ に関する取れんがかなりよいので電子計算機の助けをかりて、シンプソンの方法で計算すれば実用上有効な数値を得ることはできる。 m の値として 1, 2, および $\frac{1}{2}$ の3通りを選び、この3つの場合のVES曲線を作った。その結果が第1図である。なおそれぞれに下層がなく、下方無限に表層が連なる場合すなわち (1.1) の曲線を加えた。また横軸に深さをとり、仮定した比抵抗の分布を併せて記載した。付表は積分の数値計算の結果である。

5) 次にこれらの曲線をたとえば3層曲線(均質3層)にみだてて解析してみる。もちろん厳密にはそれは不可能な訳だが適当な省略を行ない、標準曲線との照合法により、たとえば $m=1$ の場合の曲線の解析結果は第2層目までの深さ 0.46 (表層の実際の厚さを1として)、第3層目までの深さ 0.69、比抵抗比は上より 1.35, 6.75, 7.5となった。実際には最下層までの深さは1.0だから、

これと 0.69 ではかなり違って出ている。

層数を多くして解析すればよりよい結果に近づくであろうが、3 層ではこの程度の差が出る訳である。

6) 地層がある程度の厚さ均一の比抵抗を持っていると考えられる場合は問題はかなり簡単な訳だが、ある程度の厚さ均一の比抵抗をもつということに疑問があるような場合には、地層の比抵抗の垂直的分布のあり方に関する解析結果にはかなりの任意性があることに留意せねばならぬ。



第 13 図
○ 計算値
点線は第 1 層が下方に無限に続く場合

付 表 $\int_0^{\infty} \frac{\mu X}{1-X} J_1(\lambda r) d\lambda$ の数値計算結果

m	r	下限	上限	ピッチ	積分値	計	
1	2 ⁻²	0	4.0	0.01	0.019258	0.019297	
		4.0	5.0	0.02	0.000034		
		5.0	6.0	0.02	0.000005		
	2 ⁻¹	0	4.0	0.01	0.037420		0.037465
		4.0	5.0	0.02	0.000041		
		5.0	6.0	0.02	0.000004		
	2 ⁰	0	0.4	0.005	0.018267		0.067268
		0.4	4.0	0.01	0.049017		
		4.0	5.0	0.02	0.000013		
		5.0	6.0	0.02	0.000003		
	2 ¹	0	0.4	0.005	0.035616		0.097757
		0.4	4.0	0.001	0.062125		
4.0		5.0	0.02	0.000017			
5.0		6.0	0.02	0.000001			
2 ²	(0	4.0	0.01	0.101295)	0.101282		
	0	0.4	0.005	0.064342			
	0.4	4.0	0.01	0.036944			
	4.0	5.0	0.02	0.000005			
	5.0	6.0	0.02	0.000001			
	5.0	6.0	0.02	0.000000			
2 ³	0	1.0	0.005	0.075965	0.051068		
	1.0	4.0	0.01	0.002084			
	4.0	5.0	0.02	0.000003			
2 ⁴	5.0	6.0	0.02	0.000000	0.048981		
	0	2.0	0.01	0.048981			
	0	1.0	0.001	0.006995			

2 ⁻¹	1.0	6.0	0.01	0.003710	0.010705
	0	1.0	0.001	0.013882	
	1.0	6.0	0.01	0.006914	0.020796
2 ⁰	0	1.0	0.001	0.026913	
	1.0	6.0	0.01	0.010498	0.037411
	0	1.0	0.001	0.047580	
2 ¹	1.0	6.0	0.01	0.007007	0.054587
	0	1.0	0.001	0.059903	
	1.0	6.0	0.01	0.003357	0.056546
2 ²	0	1.0	0.001	0.041392	
	1.0	6.0	0.01	0.001161	0.042553
	0	1.0	0.001	0.026413	
2 ³	1.0	6.0	0.01	0.000432	0.025981
	0	1.0	0.001	0.010536	
	1.0	6.0	0.01	0.006379	0.016915
2 ⁴	0	1.0	0.001	0.020918	
	1.0	6.0	0.01	0.011801	0.032719
	0	1.0	0.001	0.040618	
2 ⁰	1.0	6.0	0.01	0.017455	0.058073
	0	1.0	0.001	0.072321	
	1.0	6.0	0.01	0.010749	0.083070
2 ¹	0	1.0	0.001	0.094339	
	1.0	6.0	0.01	0.005205	0.089134
	0	1.0	0.001	0.075876	
2 ²	1.0	6.0	0.01	0.001694	0.077570
	0	1.0	0.001	0.057585	
	1.0	6.0	0.01	0.000648	0.056937